

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-249089

(43)公開日 平成11年(1999)9月17日

(51)Int.Cl.^b

G 0 2 F 1/01

識別記号

F I

G 0 2 F 1/01

C

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全10頁)

(21)出願番号 特願平10-365470

(22)出願日 平成10年(1998)12月22日

(31)優先権主張番号 997752

(32)優先日 1997年12月24日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 595164051

ノーザン テレコム リミテッド
NORTHERN TELECOM LIMITED

カナダ国 ケベック エイチ2ワイ 3ワイ4 モントリオール セイント・アントワーヌ・ストリート・ウエスト 380 ワールド・トレード・センター・オブ・モントリオール エイトウスフロア

(74)代理人 弁理士 伊東 忠彦 (外1名)

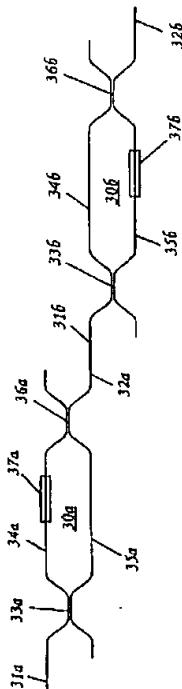
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電気制御可能型光減衰器

(57)【要約】

【課題】 特定の波長で特定の減衰を与えるべく導波路網の波動スペクトル特性を変更するため一方のアームに可変反射率素子を具備したマッハ・ツェンダー導波路構造により形成される従来の電気制御型光減衰器は、スペクトル特性のため減衰が波長に依存する。

【解決手段】 本発明によれば、長い方の干渉アームに電気制御可能型光路長調節器を具備したマッハ・ツェンダー網と、短い方の干渉アームに電気制御可能型光路長調節器を具備したマッハ・ツェンダー網との直列結合により減衰器の波長依存性が低減される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光学的に直列結合された第1及び第2のマッハ・ツェンダー構造光導波路網を有し、各マッハ・ツェンダー構造光導波路網は、入力導波路と、第1の3dBカップラー、光学的に並列した2本の干渉アーム導波路、及び、第2の3dBカップラーの直列結合によって上記入力導波路に光結合された出力導波路とを有し、

上記各マッハ・ツェンダー構造光導波路網の一方の干渉アームは、電気的にバイアスされた光路長調節器が設けられ、

上記調節器の零バイアス条件下で、上記各マッハ・ツェンダー構造光導波路網の上記2本の干渉アームには、上記入力導波路と上記出力導波路の間に実質的に100%の光カップリングが得られるマッハ・ツェンダー構造光導波路網の上記第2の3dBカップラーに干渉条件を与える非零の量の光路長の差があり、

上記調節器は、一方のマッハ・ツェンダー構造光導波路網の長い方の干渉アーム導波路と、他方のマッハ・ツェンダー構造光導波路網の短い方の干渉アーム導波路とに設けられている電気制御可能型光減衰器。

【請求項2】 上記調節器は電熱素子によって構成されている請求項1記載の電気制御可能型光減衰器。

【請求項3】 上記第1及び第2の各マッハ・ツェンダー構造光導波路網に関して、上記各マッハ・ツェンダー構造光導波路網の上記調節器の零バイアス条件下で、上記各マッハ・ツェンダー構造光導波路網の上記2本の干渉アーム導波路には、nが正整数を表すとき、 $n\pi$ の位相角の差を与える非零の量だけ光路長の差がある請求項1記載の電気制御可能型光減衰器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、電気制御可能型光減衰器に関する。

【0002】

【従来の技術】 英国特許出願GB 2 187 858 Aには、マッハ・ツェンダー(Mach Zehnder)構造の2個の4ポート形3dB石英ファイバーカップラーの直列配置により構成された電気制御可能な可変光出力比の单一モード光ファイバー分岐素子が記載されている。図1に概略的に記載されているこの種のデバイスにおいて、ポート10a、10b、10c及び10d、並びに、カップリング領域10eを備えた第1の4ポート形3dB単一モード石英ファイバーカップラー10は、2本の单一モードファイバーの全長を用いて、ポート11a、11b、11c及び11d、並びに、カップリング領域11eを備えた第2の4ポート形3dB単一モード石英ファイバーカップラー11に光結合される。ポート10bとポート11aの間、及び、ポート10cとポート11dの間に夫々延在する单一モード光ファイバーの全長12

及び13は、マッハ・ツェンダー構造の2本の干渉アームを構成する。したがって、上記の干渉アーム12及び13の光路長が一致する場合、この構造体のポート10aに入射した全ての光はポート11cから出現し、同様にポート10dに入射した全ての光はポート11bから出現する。光が伝搬する導波路の任意の伸縮性のある光路長は、物理的長さと、導波路内を伝搬する光の実効屈折率との積である。2本のアームの光路長が一致しない場合、ポート10aに入射した光は、光路長の差により導入された位相差によって決まる比率でポート11bとポート11cの間で分配される。所与の波長に対し、光路長の差を増大させることにより、ポート10aからポート11cに到達する光の割合は、上昇型のコサイン特性に従って変化する。ポート10aからポート11bを介して出現するパワーが吸収され、或いは、処理された場合、ポート10aとポート10bの間の光カップリングは、光減衰器として動作する構造とみなしえる。一方の干渉アームにある種の形式の電気バイアス式光路長調節器14を導入することにより、ポート10aとポート11bの間の光カップリングは、電気制御可能型光減衰器として動作する構造とみなしえる。英國特許出願GB 2 187 858 Aに記載された具体的な構造の場合、調節器は、一方の干渉アームファイバーを物理的に伸縮することにより光路長を変える電気歪み調節器である。

【0003】 上記デバイスによって得られる減衰の値は、2本の干渉アームの光路長の差によって導入された位相差により決められるので、上記構造によって与えられる減衰の値は波長に依存することが避けられない。一部のアプリケーションの場合、この波長依存性は許容できる程度に十分小さいが、他のアプリケーションの場合、この波長依存性は許容できない程大きい。零バイアスの条件下で、等しい光路長の干渉アームを備えた構造に関して、図2は、一方の干渉アーム内の長さ1mmの部分の実効屈折率を加熱によって局部的に上昇させることにより生ずる種々の光路長の不均衡を表す量に対し、1530nmから1560nmまでの(自由空間)波長レンジに亘って計算された減衰の変動を示すグラフである。同図を参照するに、上記波長レンジの全域において、減衰のスペクトル変化は、約5dBまでの減衰に対し比例的に非常に小さいが、約15dB以上の減衰に対し、減衰のスペクトル変化は非常に重大になることが分かる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、例えば、英國特許出願GB 2 187 858 Aに記載されているような従来のマッハ・ツェンダー型構造減衰器よりも波長感度が低減された電気制御可能型光減衰器を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 上記本発明の目的は、零

3

バイアス条件下で均等ではない光路長の干渉アームを有する二つのマッハ・ツェンダー構造体の直列配置を用いることにより達成される。一方のマッハ・ツェンダー構造体の光路長調節器を短い方の干渉アームに配置し、他方のマッハ・ツェンダー構造体の光路長調節器を長い方の干渉アームに配置するよう構成することにより、両方の調節器が同じ感度で動作する場合（すなわち、両方の調節器が共に光路長を増大させるよう動作する場合、或いは、両方の調節器が共に光路長を減少させるように動作する場合）に、一方の構造体の波長感度を他方の構造体の波長感度から少なくとも部分的にオフセットさせることができある。

【0006】本発明の他の特徴及び利点は、添付図面を参照して以下の好ましい実施例の説明から容易に理解される。

【0007】

【発明の実施の形態】図3を参照するに、本発明の第1の実施例の減衰器は、光学的に直列接続された二つのマッハ・ツェンダー構造光導波路網30a及び30bを含む。光導波路網30a及び30bは、入力導波路31a及び31bと、第1の4ポート形3dBカップラー33a及び33b、光学的に並列した2本の干渉アームを含む導波路34a、35a及び34b、35b、並びに、第2の4ポート形3dBカップラー36a及び36bの直列結合により光結合された出力導波路32a及び32bとを有する。干渉アーム34aは干渉アーム35aよりも長い。同様に干渉アーム34bは干渉アーム35bよりも長い。電気制御可能型光路長延長調節器37aは導波路網30aの長い方の干渉アーム34aに設けられ、同様に電気制御可能型光路長延長調節器37bは導波路網30bの短い方の干渉アーム35bに設けられる。

【0008】干渉アーム34aと35aの相対的な光路長は、調節器37aの零バイアス条件下で、第2の3dBカップラー36a側の入力導波路31bと出力導波路32bとの間に実質的に100%のカップリングが得られるように決められる。4ポート形3dBカップラーは、1個のポートに入射した光を2個の等しい振幅の成分に分割する。かくして、図1のカップラー10を参照するに、ポート10aに入射した光はカップリング領域10eによって2個の成分に分割され、カップリング領域10eから現れた2個の成分は夫々ポート10b及び10cに伝搬する。成分10bは、光が最初に入射されたときと同一の波長で伝搬するので、「直進」成分と称される。これに対し、他方の成分は、「交差」成分と称される。かかる4ポート式3dBカップラーの一般的な物理特性として、交差成分が直進成分よりも $\pi/2$ だけ進んでいる2個の成分がカップリング領域から出現する。したがって、各導波路網30a及び30bに関して、入力導波路と出力導波路の間で必要な100%カッ

4

プリングは、nが正整数を表し、2本のアームの間の光路長の差が $2n\pi$ の位相差に対応する場合に関係する。その理由は、何れの導波路網の場合でも、入力導波路と出力導波路は、同じ導波路の一部を形成しないからである。これに対し、何れの導波路網の場合でも、出力導波路が他のポートと連結されているならば、入力導波路及び出力導波路は同じ導波路の一部となるので、100%のカップリング条件が $(2n-1)\pi$ の位相差に対応した干渉アーム光路長の差によって与えられる。

10 【0009】図4及び5には、夫々、導波路網30a及び30bに関して、光路長の差の等しい増分量を与えるバイアスの異なる値に対し、1530nmから1560nmまでの自由空間波長レンジに亘って計算された減衰の変動が示されている。何れの例においても、零バイアス条件下における干渉アーム光路差は、1545nm（自由空間波長）で 2π の位相角の差に対応する。図2と図4を比較すると、図3の導波路網30aは図1の導波路網と同じ種類の波長感度を示すが、導波路網30aの波長依存性の方が強いということが分かる。図2、図4及び図5を同様に比較すると、導波路網30bは、図1の導波路網の波長感度と、図3の導波路網30aの波長感度との中間の波長感度を示すが、感度の符号は反転されている（短い方の波長ではなく、長い方の波長でより大きい減衰が得られる）ことが分かる。

【0010】したがって、図3の直列配置の場合に、導波路網30aと導波路網30bの一方の波長感度は、他方の導波路網の波長感度をオフセットさせるように作用する。電気的に発生された光路差を巧みに重み付けすることにより、直列配置の波長感度は最小限に抑えられる。この重み付けを実現するためには、例えば、一方の調節器37a及び37bを他方の調節器よりも延ばし、その結果として、両方の調節器に同じレベルのバイアスを加えることにより、長い方の調節器が設けられた干渉アームの位相差を、短い方の調節器が設けられた干渉アームの位相差よりも大きくすればよい。別の重み付け装置は、一方の調節器に対し他方の調節器よりも比例的に大きいバイアスを加えることにより重み付けを行う。このような比例関係は、例えば、分圧器（図示しない）を用いることにより実現される。図3の各導波路網30a及び30bにおいて、零バイアス条件下で 2π の位相差を用いるとき、導波路網30aによって示される波長感度の方が大きいということは、両方の導波路網の直列配置によって得られる最小波長依存性に対する最適重み付けが比率1乃至4の近傍にあることを意味する。非常に均等な重み付けは、二つの導波路回路網30a及び30bの干渉アームの零バイアス光路長の差の種々の値を使用することにより実現される。例えば、光路長の差は、導波路網30aにおいて 2π の位相差を与え、導波路網30bに 4π の位相差を与える場合がある。導波路網30aと30bの一方で、100%のカップリングが「交

差」ではなく「直進」となるように入力導波路と出力導波路の接続を切り換えることにより、二つの導波路網の間の位相差の差は、 2π から π まで減少される。例えば、導波路網30aが「交差」網を保ち、一方、導波路網30bが「直進」網に変換される場合、 2π の位相差を導波路網30aで利用し、 3π の位相差を導波路網30bで利用できるようになる。

【0011】図6には、導波路網30a及び30bの直列配置に関して、零バイアス位相差が(1545nmにおいて)何れの場合にも 2π であるときに、光路長不均衡の種々の量を与える略最適に重み付けられた(1乃至4)異なる値に対し、1530nmから1560nmまでの自由空間波長レンジに亘って計算された減衰の変動が示されている。かかる直列配置の波長感度は、図1の単独の導波路網に対し計算された波長感度よりも著しく低減されることに特に注意する必要がある。

【0012】3ポート式3dBのY字形カップラーは、図3の直列網配置の4ポート式3dBカップラーの代わりに用いることができる。図7は、導波路網70a及び70bの直列配置を示す図であり、図3に示された直列配置と図7に示された直接配置との相違点は、第1及び第2の4ポート式3dBカップラー33a、33b及び36a、36bが、夫々、第1及び第2の3ポート式3dBのY字形カップラー73a、73b及び76a、76bと置き換えられていることである。3dBのY字形カップラーを用いることにより、共通アームに入射したパワーは、2本の分岐アームの間で均等に分配され、2本の分岐アームに入射した成分の間に位相差は存在しない。したがって、入力導波路31aと出力導波路32aとの間に100%のカップリングを得るために、2本の干渉アーム34aと35aの間の光路長の差は $2n\pi$ の位相に一致する必要がある。同じ関係は、導波路70bについても要求される。光路長の差が($2n-1$) π の位相角の差に対応する場合、光パワーは、導波路32aの単一導波コアモードの際に入射しない。その代わりに、パワーは1次以上の(非導波)モード中に伝搬する。1次以上のモードでは、単一導波コアモードよりも本質的に非常に大きく減衰される。しかし、Y字形カップラー76aと71bの間の間隔が非常に狭いため、この自然な減衰が不充分である場合、ある形式のクラッディングモードストリッパー78を用いることにより減衰を増大させてもよい。

【0013】上記の通り、4ポート式3dBカップラーを用いる図3の導波路網30a及び30bの場合、入力導波路及び出力導波路が「交差」又は「直進」の何れの構造で配置されているかに従って $2n\pi$ 又は($2n-1$) π の位相角に対応した光路長の差によって、導波路網の入力導波路と出力導波路の間に100%カップリングを設けることが可能である。導波路網70a及び70bに実現可能な構成が1種類しかない場合、100%カ

ップリングに対する唯一の位相角の選択肢は 2π の位相角である。しかし、100%カップリングに対する種々の位相角関係は、図8及び9に夫々示されたハイブリッド式マッハ・ツェナー導波路網80及び90によって得られる。図8の導波路網80は、電気制御可能型光路長調整器87が、図8に実線で示されるように長い方の干渉アーム84に設けられているか、又は、破線で示されるように短い方の干渉アーム85に設けられているかによって、図3の導波路網30a又は30bと類似している。図8の導波路網80は、一方の4ポート式3dBカップラー86は変わらないが、他方の4ポート式3dBカップラー33aが3dBのY字形カップラー83で置換されている点で図3の導波路網と基本的に異なる。図9の導波路網90は、4ポート式3dBカップラー83が3ポート式3dBカップラー93で置き換えられ、3ポート式3dBカップラー86が4ポート式3dBカップラー96で置き換えられている点で図8の導波路網80と相違する。導波路網80において、入力がポート83aに供給される場合、干渉アーム85内の成分は干渉アーム84内の成分よりも $\pi/2$ だけ進む。このような状況では、零バイアス100%カップリング条件は、干渉アーム84の光路長が零バイアス条件で干渉アーム85の光路長よりも位相角($2n+1/2$) π に対応した量だけ長い場合に与えられる。これに応じて、入力がポート83dに供給された場合、($2n-1/2$) π の位相角は必要なカップリングを提供する。

【0014】

【実施例】図4、5及び6のグラフを作成したモデリングと同じモデリングを、3ポート式Y字形カップラーを使用するマッハ・ツェンダー網に関する繰り返し行うことにより、図10、11及び12のグラフが作成される。図10及び11は、夫々、図7の3ポート式3dBカップラー型導波路網の具体的な例であり、 2π の位相差に対応する零バイアス干渉アーム長の差を有する導波路網30a及び30bに関して、計算された波長依存性を種々の印加バイアスレベルに対して示すグラフである。図12は、同様に、1:3の重み付け比で作動される導波路網30a及び30bの直列配置に関して波長依存性を示すグラフである。図10乃至12は、 2π の位相差に対応する零バイアス干渉アーム長の差を夫々に有するY字形カップラー導波路網30a及び30bの直列配置である図7の実施例に対する測定によって得られた図13乃至15に示されたグラフとの比較の基準を提供する。図12及び15に関して、比較は図15のグラフに対する重み付け比が1:1であるという限りにおいて直接的な比較ではない。上記Y字形カップラー型ネットワークは、二酸化珪素緩衝層をプレナシリコン基板上に被覆し、上記緩衝層上に二酸化珪素がドープされたコアガラス層を被覆し、次に、パターニングし、続いて、二酸化珪素がドープされたクラッディングガラス層を被

覆する二酸化珪素-シリコン技術を用いて製造された集積化光学型チャネル導波路構造体である。各段階において、被覆はプラズマ・エンハンスト・化学蒸着法（PECVD）によって行われる。コアガラス層は、材料の屈折率が緩衝層及びクラッディング層の材料よりも 7×10^{-3} だけ高められるドープ濃度でゲルマニウムがドープされた二酸化珪素により作られる。導波路網の導波路は、幅が $6 \mu\text{m}$ 、高さが $5 \mu\text{m}$ の断面を有する。Y字形カップラーのS字形湾曲部の曲率は 30 mm であり、光路長調節器の近傍で導波路網の2本の干渉アームの間隔は $160 \mu\text{m}$ である。各調節器は、長さ 2 mm 、幅 $1.2 \mu\text{m}$ の寸法の別々のヒータが得られるようにクロムのスパッタ層のバターニングにより作成されたジュール効果加熱素子である。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術の光減衰器のマッハ・ツェンダー構造体の概略図である。

【図2】従来技術の光減衰器の具体的な一例の計算されたスペクトル特性を示すグラフである。

【図3】本発明の第1の実施例による減衰器の概略図である。

【図4】長い方の干渉アームに光路長延長調節器を有するマッハ・ツェンダー構造光導波路網の具体的な一例の計算されたスペクトル特性を示すグラフである。

【図5】短い方の干渉アームに光路長延長調節器を有するマッハ・ツェンダー構造光導波路網の具体的な一例の計算されたスペクトル特性を示すグラフである。

【図6】図3に示された減衰器の具体的な一例の計算されたスペクトル特性を示すグラフである。

【図7】本発明の第2の実施例による減衰器の概略図である。

【図8】ハイブリッド式マッハ・ツェンダー構造体の他の形式を示す概略図である。

【図9】ハイブリッド式マッハ・ツェンダー構造体の他の形式を示す概略図である。

【図10】4ポート形3dBカップラーの代わりに3ポート形3dBのY字形カップラーを用いて構成されたマッハ・ツェンダー構造体の例に関して、長い方の干渉アームに光路長延長調節器を有するマッハ・ツェンダー構

造光導波路網の具体的な一例の計算されたスペクトル特性を示すグラフである。

【図11】4ポート形3dBカップラーの代わりに3ポート形3dBのY字形カップラーを用いて構成されたマッハ・ツェンダー構造体の例に関して、短い方の干渉アームに光路長延長調節器を有するマッハ・ツェンダー構造光導波路網の具体的な一例の計算されたスペクトル特性を示すグラフである。

【図12】4ポート形3dBカップラーの代わりに3ポート形3dBのY字形カップラーを用いて構成されたマッハ・ツェンダー構造体の例に関して、減衰器の具体的な一例の計算されたスペクトル特性を示すグラフである。

【図13】4ポート形3dBカップラーの代わりに3ポート形3dBのY字形カップラーを用いて構成されたマッハ・ツェンダー構造体の例に関して、長い方の干渉アームに光路長延長調節器を有するマッハ・ツェンダー構造光導波路網の具体的な一例の測定されたスペクトル特性を示すグラフである。

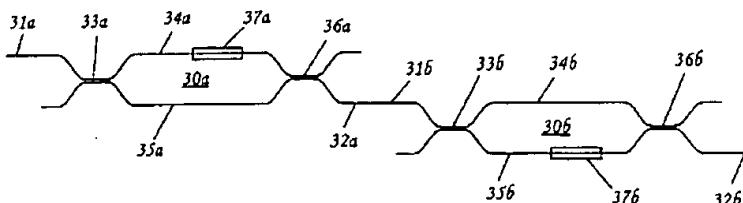
【図14】4ポート形3dBカップラーの代わりに3ポート形3dBのY字形カップラーを用いて構成されたマッハ・ツェンダー構造体の例に関して、短い方の干渉アームに光路長延長調節器を有するマッハ・ツェンダー構造光導波路網の具体的な一例の測定されたスペクトル特性を示すグラフである。

【図15】4ポート形3dBカップラーの代わりに3ポート形3dBのY字形カップラーを用いて構成されたマッハ・ツェンダー構造体の例に関して、減衰器の具体的な一例の測定されたスペクトル特性を示すグラフである。

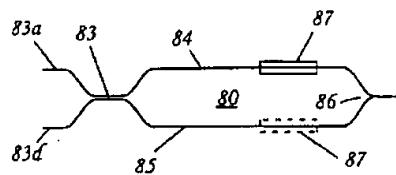
【符号の説明】

30a, 30b	マッハ・ツェンダー構造光導波路網
31a, 31b	入力導波路
32a, 32b	出力導波路
33a, 33b	第1の4ポート形3dBカップラー
34a, 34b, 35a, 35b	干渉アーム
36a, 36b	第2の4ポート形3dBカップラー
37a, 37b	電気制御可能型光路長延長調節器

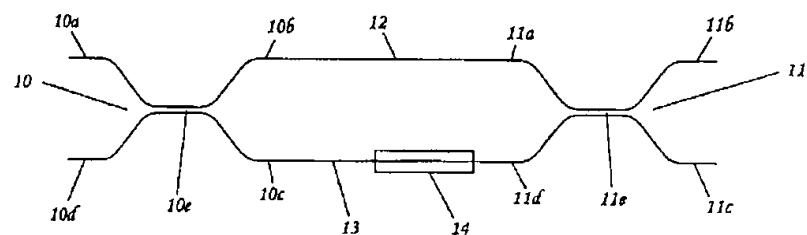
【図3】



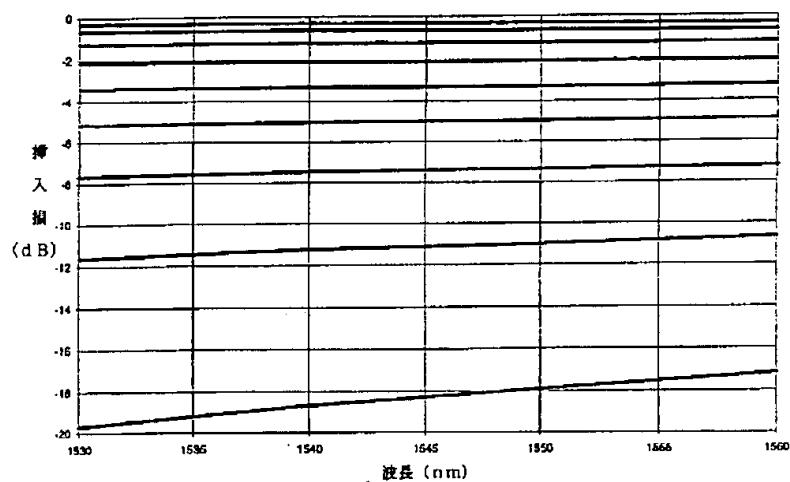
【図8】



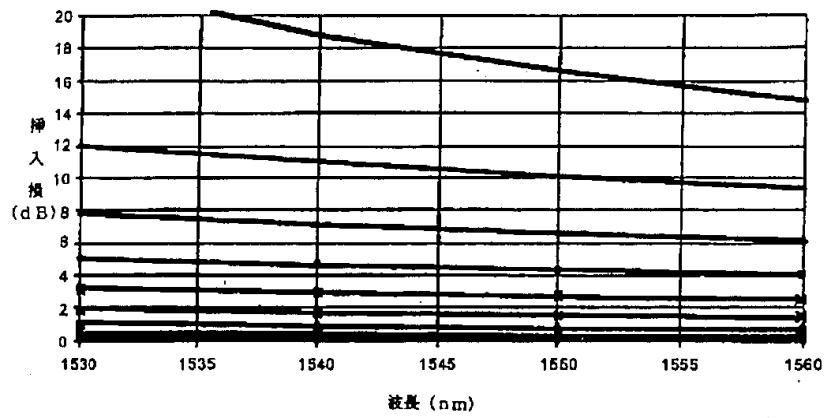
【図1】



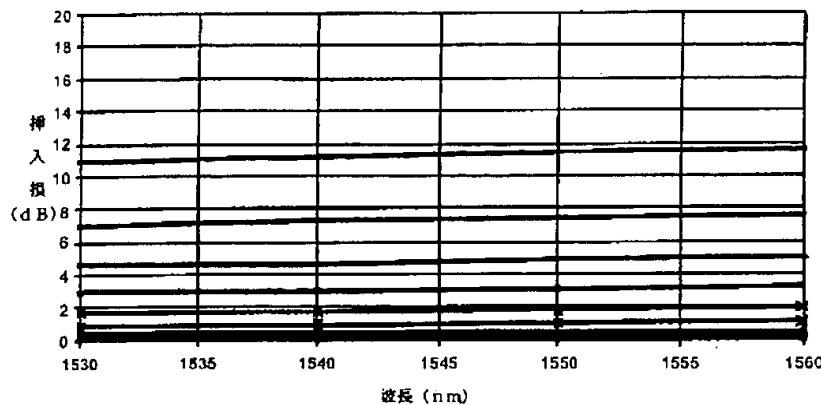
【図2】



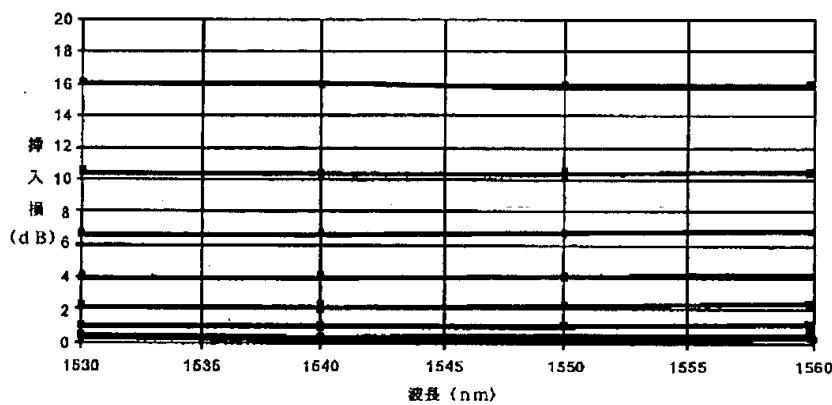
【図4】



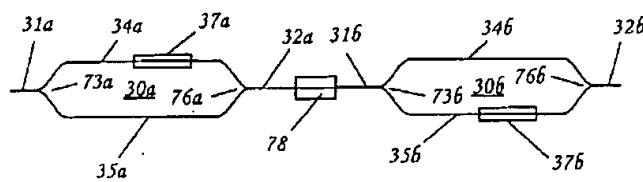
【図5】



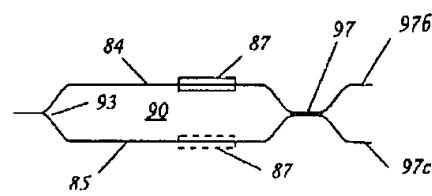
【図6】



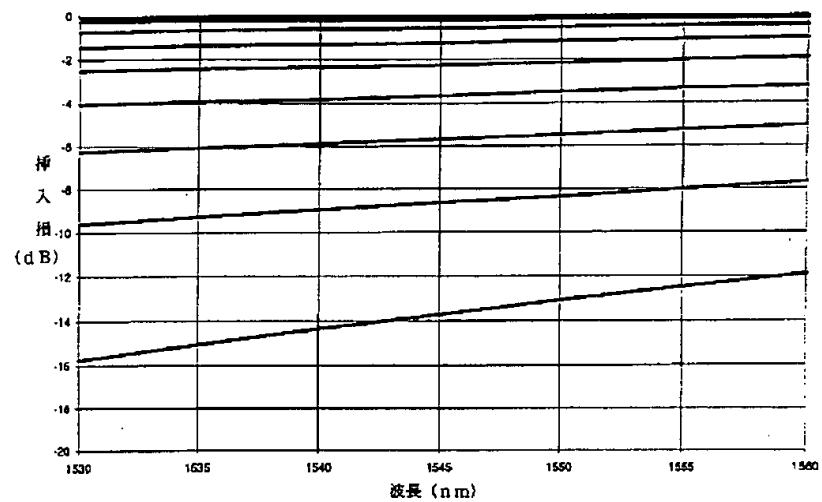
【図7】



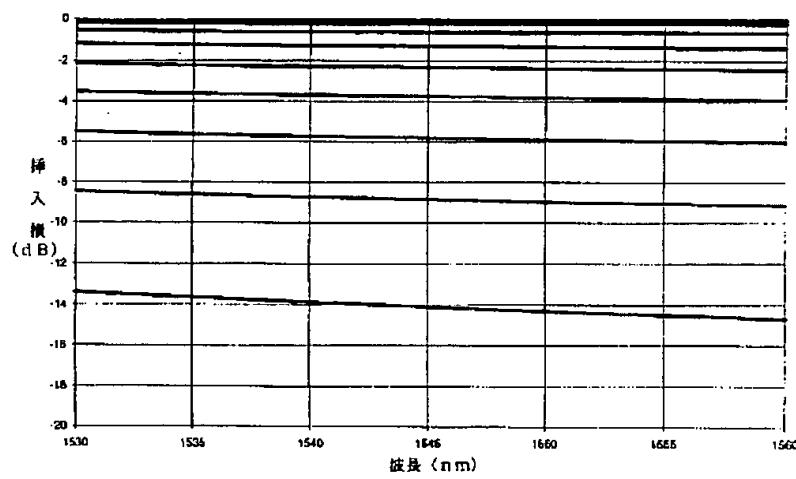
【図9】



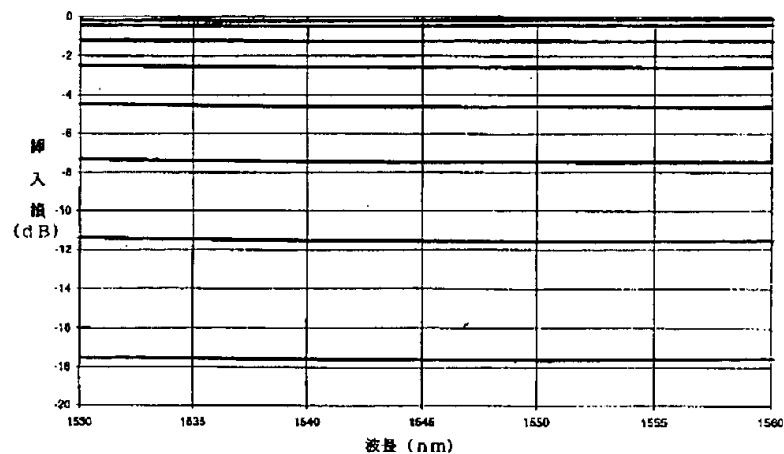
【図10】



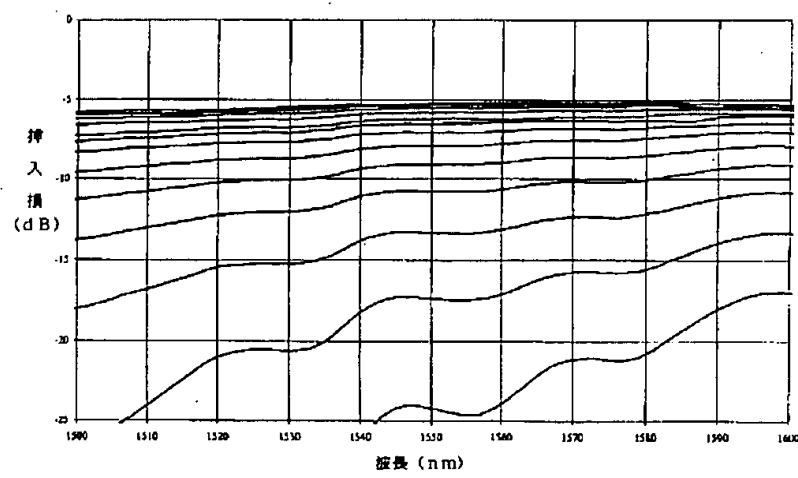
【図11】



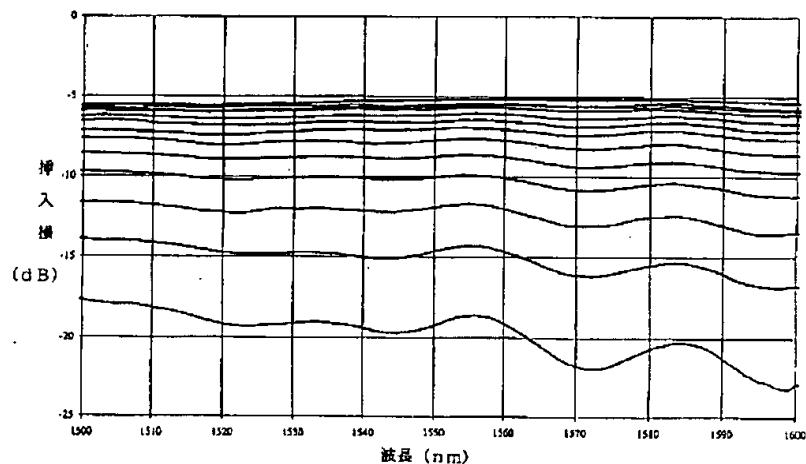
【図12】



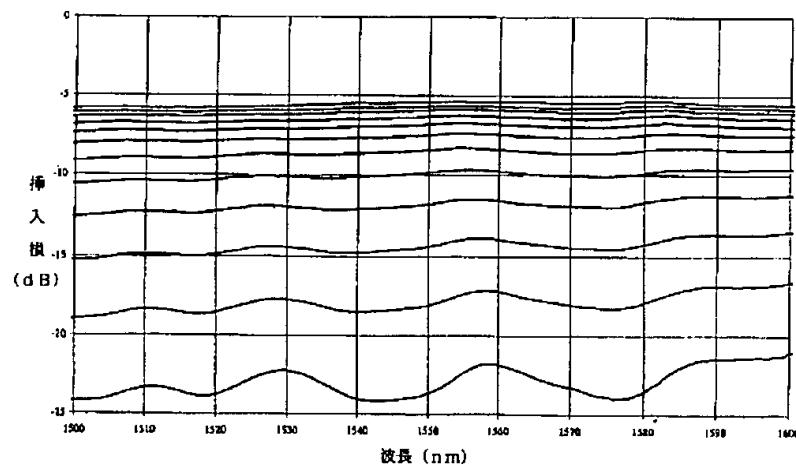
【図13】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

(72)発明者 スティーヴン デイ
イギリス国、エセックス シーエム18 6
エビー、ハーロウ、ウエストフィールド
18

(72)発明者 テリー ヴィクター クラップ
イギリス国、ハートフォードシャー エス
ジー11 1 エルエイチ、スタンドン、グリ
ーン・レイズ・コテージーズ 7

CLIPPEDIMAGE= JP411249089A

PAT-NO: JP411249089A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11249089 A

TITLE: ELECTRICALLY CONTROLLABLE OPTICAL ATTENUATOR

PUBN-DATE: September 17, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
DAY, STEPHEN	N/A
CLAPP, TERRY VICTOR	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
NORTHERN TELECOM LTD	N/A

APPL-NO: JP10365470

APPL-DATE: December 22, 1998

INT-CL_(IPC): G02F001/01

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electrically controllable optical attenuator reduced in wavelength sensitivity by arranging plural Mach-Zehnder body structures having the interference arms of unequal optical path lengths in series under a zero bias condition.

SOLUTION: An electrically controllable optical path length extension controller

37a is provided on a longer interference arm 34a of a waveguide network 30a and similarly, an electrically controllable optical path length extension controller 37a is provided on a shorter interference arm 35b of a waveguide network 30b. The relative optical path lengths of the interference arms 34a and 35b are controlled so as to provide coupling practically in 100% between an input waveguide 31b and an output waveguide 32b on the side of a second 3 dB coupler 36a on the zero bias condition of the controller 37a. Thus, the wavelength sensitivity of one of waveguide networks 30a and 30b is operated so as to offset the wavelength sensitivity of the other waveguide network. By skillfully weighting an electrically generated optical path difference, the wavelength sensitivity of serial arrangement is minimized.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO